

## 15) 骨角器の安定化処理および修理

陸前高田市立博物館が所蔵していた骨角器は、東北地方太平洋沖地震によって引き起こされた津波により、完全に海水に浸かってしまいました。回収された骨角器は、塩分の吸湿によってその表面にべたつきが発生するという状況になっていました。

また、これらの骨角器の中には大小さまざまな亀裂が認められるものもあり、樹脂塗布による強化処置がなされているものもありました。

このような津波被害を受けた骨角器の安定化処理を奈良文化財研究所において行いました(注)。津波被害を受けた骨角器の安定化は、べたつきの原因となっている骨角器に含まれている塩分の除去(脱塩処理)が主となります。樹脂塗布が行われている骨角器もあることから、脱塩処理には骨角器を水に浸漬する方法を採用しました。脱塩処理を行うにあたっては、水による効率的な脱塩法と脱塩処置後の乾燥法の構築という観点から、予備試験を行いました。行った予備試験は以下の通りです。

樹脂塗布が行われている骨角器と行われていない骨角器を選び、試験に供しました。まず始めに各資料は風乾重量を測定し、骨角器重量の40倍の重量の純水に浸漬しました。所定時間経過後、骨角器を浸漬している水を微量採取し、イオンクロマトグラフィにより、種々の溶存イオンの濃度を測定しました。

予備試験としての脱塩処理中および脱塩処理後に骨角

器の状態を観察したところ、骨角器そのものの表面および塗布されている樹脂の状態ともに変化は認められなかったことから、水による骨角器の脱塩処理には問題がないと判断しました。

水による脱塩効果については、用いる水の量と水の交換時期を検討する必要があります。図1は、骨角器から水に溶出した陽イオンのうち、海水に由来すると考えられるマグネシウムイオンとナトリウムイオンの濃度変化を示したものです。両イオンとも時間とともに濃度上昇が認められ、浸漬後24時間から48時間でほぼ恒量に達することがわかりました。抽出効率を考慮するならば、浸漬する水の交換は、骨角器の40倍量の水を用いた場合、48時間程度とするのが適当であると判断することができます。

いっぽう、水による脱塩処理後に骨角器を急激に乾燥させると乾燥応力による破壊が生じる危険性があります。また、今回の資料のように表面に樹脂が塗布されているものがある場合、加熱乾燥による樹脂の軟化・融解も懸念されます。そこで、脱塩処理の終了した骨角器を5点選び、試験的に室温での風乾を7日間、次いで45℃の恒温器中で7時間乾燥を行いました。その結果、乾燥による破壊および加熱による樹脂の軟化・融解も生じることなく、良好に乾燥することができるとわかりました。恒温器中での乾燥は4時間で十分であることも確認されました。

骨角器の脱塩処理試験および乾燥試験の結果を受け、脱塩処理には水道水を用いること、骨角器を浸漬する水の交換は毎週月曜日、水曜日および金曜日とすること、

## 15) Stabilization and Repair of Bone Tools

The Rikuzentakata City Museum's collection of bone tools was completely immersed in seawater due to the tsunami caused by the 2011 earthquake. Tackiness due to moisture absorption by residual salt was observed on the surface of the salvaged bone tools.

In addition, various large and small cracks were observed in some of the salvaged items. Also, some bone tools had been given strengthening treatments with the application of resin.

Stabilization of these tsunami-damaged bone tools was performed at the Nara National Research Institute for Cultural Properties. The main process for the stabilization of tsunami-damaged bone tools was to remove the salt (desalination) that was causing tackiness. Since resin had been applied to some of the bone tools, a water soaking method was chosen for the desalination of them. Prior to performing desalination, preliminary tests were implemented to develop an efficient desalination method using water and a post-desalination drying method. Details of these tests are described below.

Bone tools with and without resin application were selected and used as test pieces. First, the air-dried weight of each test piece was measured. Then, each test piece was soaked in deionized water at an amount 40 times the weight of the test piece. After the predetermined time elapsed, a small sample was collected from the water in which the bone tools were soaked, and concentrations of various dissolved ions were measured by ion chromatography.

Since no change was observed on the surface of the bone tools or the applied resin during and after the desalination in the preliminary test, it was concluded that there was no problem with desalinating bone tools using water.

The amount of water to use and the frequency of water exchange must be evaluated in regard to the outcome of

desalination by water. Among the cations that eluted into the water from the bone tools, Figure 1 shows the changes in the concentration of magnesium ions and sodium ions which are presumably derived from seawater. The concentration of both ions increased with time, and it was observed that the concentration values became nearly constant during the period between 24 and 48 hours of soaking. In terms of extraction efficiency, it can be concluded that the soaking water should be changed, after soaking for approximately 48 hours in water of an amount 40 times the weight of the bone tool.

Meanwhile, rapid drying of bone tools following desalination by water may cause breakage due to drying stress. Furthermore, in regard to bone tools with surface resin application, heat drying may cause the resin to soften and/or melt. Thus, five post-desalination bone tools were selected and were air-dried on a trial basis for 7 days at room temperature and then 7 hours of drying in an incubator at 45 °C. As a result, it was found that the bone tools could be dried in good condition with no damage caused by the drying or resin softening or melting caused by the heating. Furthermore, it was confirmed that the bone tools were sufficiently dried for 4 hours in the incubator.

Based on the results of these tests, the following procedure was made: tap water is used for desalination; the soaking water was changed every Monday, Wednesday and Friday; and drying was performed with 7 days of air drying and 4 hours of heat drying at 45 °C. It was also decided to use water at an amount 1,000 times the air-dried weight of the bone tools since a large quantity of the bone tools had to be treated as quickly as possible.

The detailed stabilization procedure is described below. Since there was a large number of salvaged items, two large tanks sized 1,600x700x450(HxWxD) mm (volume: approx. 500 L) were used to perform desalination with tap water for all

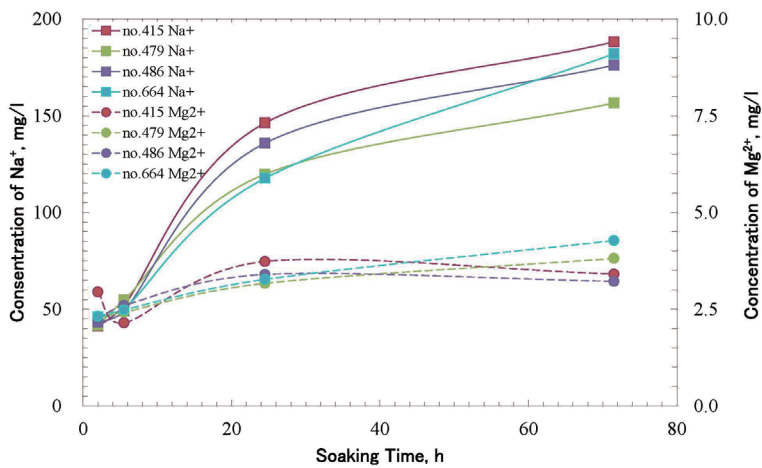


図1 脱塩処理の予備実験。脱塩に用いる水の量と交換時期を決めるために、予備実験をおこなった。概ね、48時間で恒量に達していることがわかる。  
 Fig. 1 Preliminary desalination test. The preliminary desalination test was implemented to determine the amount of water needed to use and the frequency of water exchange during treatment. The results demonstrate that the concentration levels became nearly constant after soaking for 48 hours.

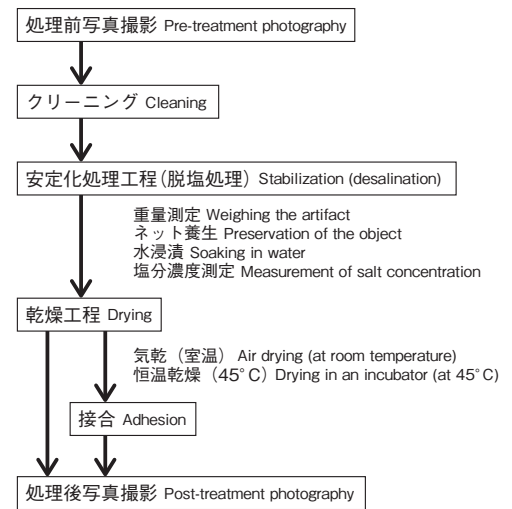


図2 安定化処理と修理の流れ。予備実験の結果を基に、安定化処理と修理の工程を策定した。接合は必要最小限のものに限って行った。  
 Fig. 2 Stabilization and restoration flow. The stabilization and restoration processes were developed based on the results of the preliminary test. Adhesion was performed only to the minimum extent necessary.

表1 脱塩処理中の塩化物イオン濃度。イオン選択電極法により、簡便に脱塩水中の塩化物イオン濃度を測定した。概ね水道水と同じレベルの濃度であり、順調に脱塩が進行したといえることができる。  
 Table 1 Chloride ion concentrations during desalination. Levels of chloride ion concentration in the desalination liquid were continually measured using the ion selective electrode method. Since the values were close to the levels of tap water, it can be concluded that the desalination has progressed well.

	Tank 1	Tank 2
15 Feb	11.4	-
After water exchange, Feb 18th	10.9	10.8
Before water exchange, Feb 20th	11.7	11.3
After water exchange, Feb 20th	14.8	12.2
Before water exchange, Feb 22th	-	13.4
After water exchange, Feb 22th	-	11.4
Before water exchange, Feb 25th	12.0	11.7
After water exchange, Feb 25th	-	-
Before water exchange, Feb 20th	-	8.3
After water exchange, Feb 27th	11.4	12.9
Before water exchange, March 1st	12.2	-
After water exchange, March 1st	-	14.2
Evening, March 1st	13.4	14.2
Morning, March 1st	13.4	-
Noon 1, March 4th	12.2	-
Noon 2, March 4th	12.8	13.8
Evening, March 4th	12.7	-
Morning, March 5th	-	14.0
Evening, March 5th	14.8	-
Morning, March 6th	-	13.0
Evening, March 6th	13.0	13.5
Morning, March 7th	12.0	12.6
Evening, March 7th	12.6	14.1



図3 安定化処理前のクリーニング。細かな部分に入り込んでいる土は竹串等を用いて実体顕微鏡下で丁寧に除去した。  
 Fig. 3 Pre-stabilization cleaning. Dirt inside delicate and detailed areas was painstakingly removed using bamboo skewers and other tools while viewing the item through a stereomicroscope.



図4 安定化処理前のクリーニング。表面の破損を避けるため、柔らかい筆等でクリーニングを行った。  
 Fig. 4 Pre-stabilization cleaning. The item was cleaned with soft brushes and other similar tools to avoid damaging the surface.

乾燥法は7日間の風乾と45℃で4時間の恒温器中での加熱乾燥とすることとしました。しかし、大量の骨角器をできるだけ早く処置しなければならなかったため、骨角器の風乾重量に対する水の重量は1000倍とすることにしました。

実際に行われた安定化処理は以下の通りです。資料数が非常に多かったことから、長さ1600×幅700×高さ450mm（容積約500L）の大型水槽を2基使用し、水道水による一斉脱塩処理を行いました。水槽内での脱塩処理中に骨角器から破片が生じることも考えられたことから、破片の帰属をできるだけ確実なものとするため、骨角器を1点ずつ目の細かい小型のポリエチレン製の網袋に入れ、果実収穫用メッシュコンテナに入れました。なお、コンテナ1箱あたりの点数は約14点としました。

また骨角器を入れたコンテナは水面に浮かぶため、複数段積み上げた後、最上段に空のコンテナを積み、そこにおもりを載せることにより、全体が浮かび上がることなく十分に水面下に保持されるようにしました。水の交換は上述の通り、毎週月曜日、水曜日、金曜日としました。水の交換にあたっては、骨角器をコンテナに入れたまま水槽から取り出し、水槽内の水をすべて排水した後、新たに所定量の水道水を満たしました。水の入れ替えは所定間隔で2月18日から3月1日まで行いました。最終週については、その後3月7日まで水の入れ替えはせずに脱塩処理を行いました。

水槽内での脱塩処理効果を確認するため、イオン選択

items simultaneously. Since there was the possibility of pieces breaking off from the bone tools during desalination in the tank, each item was placed in a small, fine mesh polyethylene net bag, and then the bags were placed in a plastic mesh container. Approximately 14 items were placed in each container.

Furthermore, since the containers holding the bone tools would float on the water, the containers were kept completely underwater by stacking a few containers, and placing an empty container on the top with weight inside it. The water was changed every Monday, Wednesday and Friday. When changing the water, bone tools were removed from the tank while keeping them in the containers. Then, after draining all the water from the tank, the tank was filled with new tap water at the predetermined amount. The tank water was changed at the predetermined frequency from February 18 to March 1. In the last week, desalination was performed without exchanging the water until March 7.

The chloride ion concentration of the water was measured using the ion selective electrode method to confirm the level of desalination performed inside the tank. This method enables an easy and quick measurement of chloride ion concentration since measurements can be made simply by soaking the device in the tank water. The results are shown in Table 1. The results demonstrated that concentration levels in both tanks ranged mostly between 10 to 15 ppm. Since those values fell within the range of chloride ion concentrations of tap water, it was judged that desalination treatment had been progressing at a good rate, and subsequently the treatment was concluded on March 7.

After wiping off the water on the surface of desalinated bone tools using paper towels, the items were air dried at room temperature for approximately 7 days. Then, they were dried in an incubator at 45 °C for four hours. After drying, the surface of the bone tools was carefully observed to ensure

電極法を使用し、塩化物イオン濃度を測定しました。この方法は水槽に装置を浸漬するだけで測定できるため、きわめて簡易かつ迅速に塩化物イオン濃度を測定することができる方法です。表1に水槽内の塩化物イオン濃度を示します。測定の結果、どちらの水槽においても概ね10～15ppmの範囲に数値が入っていました。この数値は水道水に含まれている塩化物イオン濃度の範囲内であり、順調に脱塩が進行していると判断し、3月7日に脱塩処理を終了しました。

脱塩処理が終了した骨角器は、その表面の水分を紙タオル等でふき取り、約7日間室温で風乾を行った後、45℃の恒温器中で4時間乾燥を行いました。乾燥後に、骨角器の表面を詳細に観察し、塩の析出が認められないことを確認し、安定化処理を終了しました。

安定化処理後に、必要に応じて、アクリル樹脂（商品名：パラロイドB72）の5%アセトン溶液を用いて接合を行いました。

**注** 本研究は、高妻洋成、脇谷草一郎、田村朋美、赤田昌倫（以上奈良文化財研究所）、金旻貞、松田和貴、杜之岩（以上京都大学大学院生）、藤井佐由里、長谷川愛（以上奈良大学生）により実施されました。

高妻洋成（奈良文化財研究所）

that there was no salt deposition, and the desalination was concluded.

After performing stabilization, adhesion was performed as needed using acrylic resin (product name: PARALOID B72) 5% acetone solution.

**Note:** This research was conducted by Yohsei Kohdzuma, Soichiro Wakiya, Tomomi Tamura and Masanori Akada (Nara National Research Institute for Cultural Properties), Kim Min-Jung, Kazutaka Matsuda, and Du ZhiYan (graduate students of Kyoto University), and Sayuri Fujii and Ai Hasegawa (students at Nara University).

Yohsei Kohdzuma  
(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

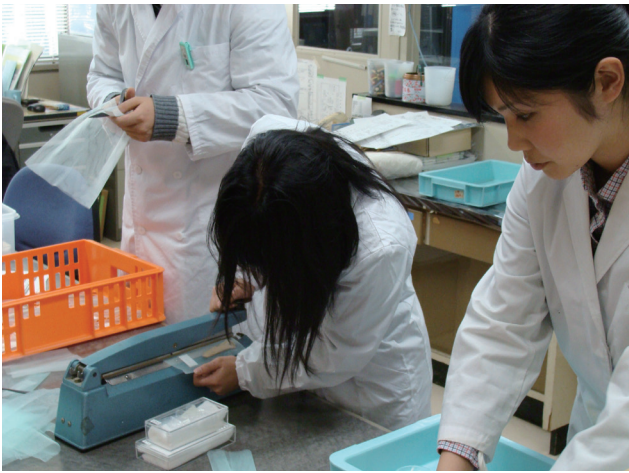


図5 ネットへの梱包養生。脱塩処理を実施する前に、処理液中で資料から破片が生じたときの破片の帰属を確保するため、目の細かなポリエチレン製のネットに梱包した。

Fig. 5 Curing by packing in a net. Prior to performing desalination, bone tools were packed in a fine mesh polyethylene net to enable reliable identification of the pieces in case they broke off from the items while in the treatment solution.



図6 脱塩処理。果実収穫用のメッシュコンテナに骨角器を入れ、大型の水槽に浸漬した。

Fig. 6 Desalination. Bone tools were placed in a mesh container for fruit harvesting and then soaked in a large tank.



図7 脱塩処理。メッシュコンテナの浮きを防ぐため、最上段の空のコンテナには重しをのせた。

Fig. 7 Desalination. A weight was placed on the top of the empty mesh container to prevent the stack of containers from floating in the solution.

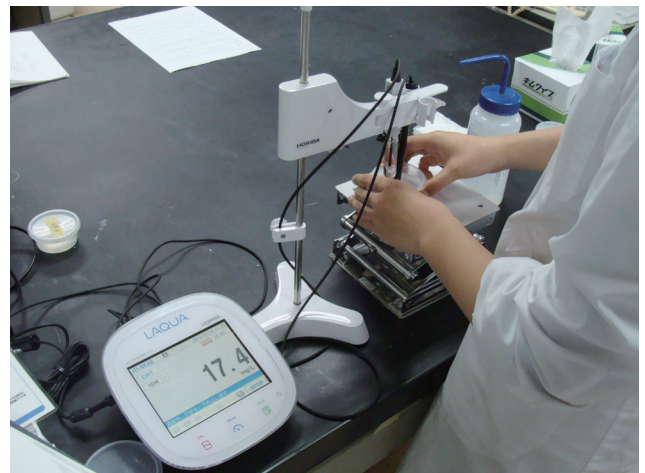


図8 塩化物イオン濃度の測定。脱塩処理中の塩化物イオン濃度を簡便に計測するためにイオン電極選択法を用いた。

Fig. 8 Chloride ion concentration measurement. The ion selective electrode method was used to measure chloride ion concentration in a simple and easy manner during desalination.

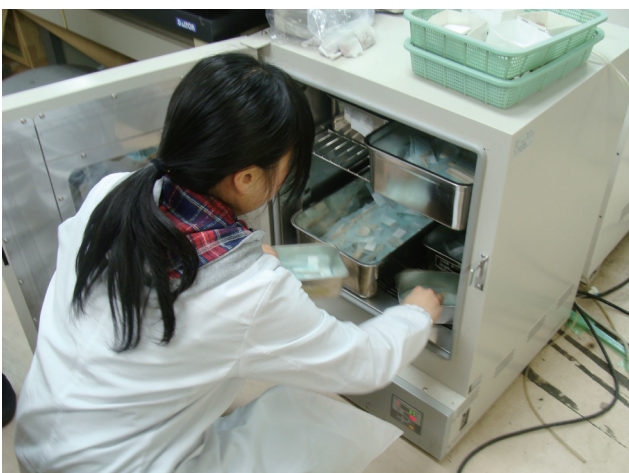


図9 乾燥工程。脱塩水から取り出した骨角器は室温で気乾した後、45°Cに設定した恒温器中で乾燥した。

Fig. 9 Drying process. Bone tools removed from the desalination solution were air dried at room temperature and then dried in an incubator set at 45 °C.



図10 処理後の写真撮影

Fig. 10 Taking photographs after treatment.